

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-270616

(43)Date of publication of application : 20.09.2002

(51)Int.Cl.

H01L 21/331  
H01L 29/737

(21)Application number : 2002-050005

(71)Applicant : AGILENT TECHNOL INC

(22)Date of filing : 26.02.2002

(72)Inventor : MOLL NICOLAS J  
BOLOGNESI COLOMBO R

(30)Priority

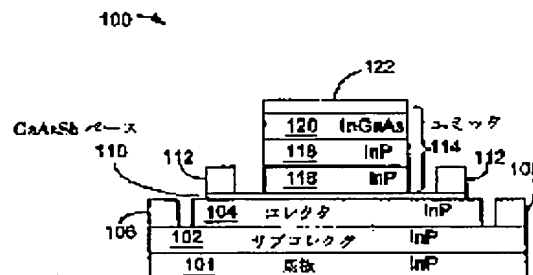
Priority number : 2001 796299 Priority date : 27.02.2001 Priority country : US

(54) GAIN IMPROVED HETEROJUNCTION BIPOLAR TRANSISTOR USING THIN GALLIUM ARSENIDE ANTIMONY LAYER FOR BASE, AND ITS MANUFACTURING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a heterojunction bipolar transistor which can obtain high current gain, while maintaining a high operation frequency, and its manufacturing method.

SOLUTION: This heterojunction bipolar transistor (100) is a heterojunction bipolar transistor (100), containing a collector (104), an emitter (114) and a base (110), positioned between the collector (104) and the emitter (114), and the base (110) contains a gallium arsenide antimony (GaAsSb) layer having a thickness of less than 49 nm.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 22.02.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-270616

(P2002-270616A)

(43) 公開日 平成14年9月20日(2002.9.20)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

ターマート(参考)

H O 1 L 21/331  
29/737

H O 1 L 29/72

H 5F003

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L

(全9頁)

(21) 出願番号 特願2002-50005 (P2002-50005)

(22) 出願日 平成14年2月26日(2002.2.26)

(31) 優先権主張番号 796299

(32) 優先日 平成13年2月27日(2001.2.27)

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 399117121

アジレント・テクノロジーズ・インク

A G I L E N T T E C H N O L O G I E  
S, I N C.アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアル  
ト ページ・ミル・ロード 395

(72) 発明者 ニコラス・ジェイ・モール

アメリカ合衆国カリフォルニア州ラ・ホン  
ダ ボックス408 スタールート2

(74) 代理人 100105913

弁理士 加藤 公久

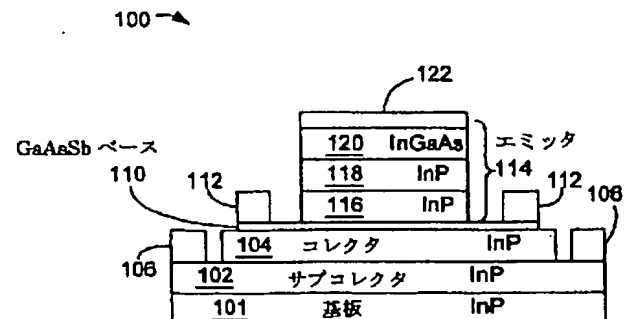
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 薄いガリウム砒素アンチモン層をベースに用いた利得向上型ヘテロ接合バイポーラトランジスタ及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 高い動作周波数を維持しつつ高い電流利得を提供することが出来るヘテロバイポーラトランジスタ及びその製造方法を提供すること。

【解決手段】 本発明によって提供されるヘテロバイポーラトランジスタ(100)は、コレクタ(104)と、エミッタ(114)と、そしてコレクタ(104)及びエミッタ(114)間に位置するベース(110)とを含むヘテロ接合バイポーラトランジスタ(100)であって、ベース(110)が49nm未満の厚さを持つガリウム砒素アンチモン(GaAsSb)層を含む。



間の不純物濃度依存性は以下の等式からわかる。

\* \* 【0006】

$$\rho_B = 1/q N_A \mu_p W_B = K_0 / N_A^{(1-\epsilon)} W_B \quad \dots$$

・ (式1)

$$1/\tau_B = 1/\tau_{SRH} + 1/\tau_{RAD} + 1/\tau_{AUGER} = A + B N_A + C N_A^2 \quad \dots (式2)$$

$$\tau_T = W_B / V_{thermal} + W_B^2 / 2 D_n \quad \dots$$

・ (式3)

【0007】項 $\rho_B$ はベースシート抵抗、 $q$ は電子の電荷、 $N_A$ はベース中の不純物添加濃度、 $\mu_p$ はベース中の正孔移動度、 $W_B$ はベース厚、 $K_0$ は定数、そして $\epsilon$ は正孔移動度の不純物添加量に対する依存性を経験的に説明することが出来る定数である。項 $\tau_B$ はベース中電子の正味寿命であり、これは寿命がショットキー・リード・ホール再結合の寿命 $\tau_{SRH}$ 、放射再結合の寿命 $\tau_{RAD}$ 、及びオージェ再結合の寿命 $\tau_{AUGER}$ とに関係することが示されている。A、B及びCは $\tau_B$ のベース不純物添加濃度に対する依存性を経験的に説明することが出来る定数である。ベース通過時間 $\tau_T$ はベース厚、電子の熱運動速度 $V_{thermal}$ 、及び電子拡散定数 $D_n$ に依存していることがわかる。

【0008】式1、式2及び式3における定数 $K_0$ 、 $\epsilon$ 、A、B、C及び $D_n$ は材料によって異なる。従って、ベース層の膜厚変化に付随する特性の変化挙動は材料によって異なる。InPに格子整合するInGaAsに関する値はよく知られている為、HBTのベースを変化させた場合の例として用いるものとする。縮退的に不純物添加された材料（HBTベースの場合、ほぼ確実にこのような材料が使用される） $\mu_p$ は不純物添加レベルにわずかに依存し、 $\epsilon$ は小さい正の数である。この依存性が無視出来る程度のものであると仮定し、R. K. Ahrenkiel等による“Recombination lifetime of In0.53Ga0.47As as a function of doping density” (Appl. Phys. Lett., V. 72, pp3470ff., 1998) 及びY. Betser及びD. Ritterによる“Electron transport in heavily doped bases of InP/GaInAs HBTs probed by magnetotransport experiments” (IEEE Trans. Elec. Dev., V. 43, pp. 1187ff., 1996) から得た他の材料のパラメータとして代表的な数値を用いることにより、InGaAsベースを持つHBTの変化挙動を得る。

【0009】図1は、電流利得がベース層厚の関数として50となるように制約されたInGaAsベースHBTにおける $f_T$ 、 $f_{MAX}$ 及びベース不純物添加濃度の変化挙動を説明するものである。カットオフ電流 $f_T$ 及び最高動作周波数 $f_{MAX}$ は左軸に対して、そしてベ-

スへの不純物添加濃度は右軸に対してプロットしてある。図に示したとおり、ベース再結合は不純物添加濃度に強い依存性を持つ為にベース厚を約36nm未満にまで小さくすると、 $f_{MAX}$ が著しく劣化する。劣化が起きるのは、ベース厚が小さくなるに従ってベースシート抵抗が増大する為である。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】従って、当該分野においては、高い動作周波数を維持しつつ高い電流利得を提供することが出来るHBTが必要とされているのである。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明はInPコレクタ、GaAsSbベース及びInPエミッタを含むHBTであり、ベースが薄いGaAsSb層で構成されたことを特徴とするものである。この薄いベース層は、コレクタ材料のバルク格子定数に整合するバルク格子定数を持つ組成のGaAsSb材料から形成することが出来る。GaAsSbベース層の厚さは49nm未満、出来れば約20nm未満であることが望ましい。ベースへの不純物添加を高レベルで行うことによりシート抵抗を低下させ、また、ベース層を薄くしたことによるベース直列抵抗を低減する。エミッタもInPコレクタと格子整合する組成を持つAlInAsを用いて形成することが出来る。

【0012】他の実施形態においては、As含有量の高いGaAsSb組成で薄型ベース層を構成することにより、エミッターベース接合の伝導帯バンドエネルギー不連続量を小さくすることが出来る。HBTのベースを構成するGaAsSb薄膜は、最高で約65%の砒素成分を含む組成で形成することが出来る。これにより伝導帯エネルギー不連続量が小さくなるという利点が提供されるが、一方でGaAsSb中の砒素成分が約51%よりも大きくなるとGaAsSbベース層の格子パラメータが変化する為、これを従来通りに厚く成長させた場合は好ましくない転位が生じてしまう。転位の発生を防止する為にGaAsSbベース層は転位が発生し得る臨界膜厚を超えない厚さに形成される。このようなGaAsSbベース層はコレクタ上において仮晶的に「歪められる」為、この層の格子定数はコレクタの格子定数に一致することになるのである。ベースに高レベルの不純物添加を行うのは、シート抵抗を減らし、ベース層を薄く形

の再結合を空間的な間接再結合と呼ぶのは、電子と正孔が古典物理学に基づいて分離される為である。量子物理学によれば、電子及び正孔は完全に局在化されているわけではない。これらはわずかに重なり合う波動関数により表される。従っていくらかの再結合が生じる。これらの作用はいずれも当事者には周知である。

【0023】注入電流密度  $j_{injection}$  は、エミッターベース接合のベース側の注入電子密度を  $n_{base}$ 、そしてベースを通る電子の速度を  $v_{base}$  とした場合、 $j_{injection} = q n_{base} v_{base}$  で表される。 $j_{injection} / j_{interface} = v_{base} n_{base} / v_{interface} n_{emitter}$  の比は、トランジスタの電流利得の上限を表す。金属接合のいずれかの側の電子密度比により界面再結合速度が  $\exp(-q \Delta E_c / kT)$  で有効に乗算され、電流利得に直接的な影響を及ぼすことになる。

【0024】GaAsSbベース及びInPエミッタを含むHBTの第二の欠点とは、電流が電流利得の圧縮が生じる値にまで低下するという点である。代表的なHBTにおいては、エミッターベース容量を低減する為にエミッタに相対的に低濃度の  $N_{\alpha}$  が添加される。例えば、一定のエミッタ不純物添加濃度を利用した場合、ベースへの注入電子密度に  $N_{\alpha} \exp(-q \Delta E_c / kT)$  の厳格な上限が課せられる。これは図2のInP/GaAsSb/InP型HBTのエミッターベース接合68に強い順方向バイアスを印加した場合の特性を表したエネルギーバンド図51である図3に示されている。このバイアス値に近づくと、エミッタ容量が非常に大きくなり、周波数応答が急激に低下する。純粋な拡散輸送では、ベースを通る電子速度 ( $v_{base}$ ) は代表的なマイクロ波トランジスタにおいて  $10^7$  cm/秒程度である。これにより、電子不連続性がある場合は電流密度  $20 \text{ A/cm}^2 \sim 5 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$  において利得圧縮が生じる。実験結果から得られた値はこの範囲の中でも上限値に近いが、それでもエミッタ帯電周波数  $g_m / (2\pi C_{\alpha})$  を制限することで装置の性能に深刻な限界が設けられる (ここで  $g_m$  はダイナミックエミッタコンダクタンス、 $C_{\alpha}$  はエミッタ接合容量)。

【0025】図4は、本発明に基づいて製造されたHBT100の断面を示す概略図である。HBT100はInP基板101を含み、この上に高濃度のn型不純物を添加したサブコレクタ層102が形成されている。サブコレクタ層102上にはn型InPコレクタ層104が形成される。また、図示したように、サブコレクタ層102の一部には金属接触106が形成されている。

【0026】InPコレクタ層104上には高濃度のp型不純物を添加したGaAsSbベース層110が49nm未満、望ましくは約20nmの厚さに形成されており、このベース層110の一部には図示したように金

属接触112が設けられている。ベース層110は異なる組成で形成することが出来る。

【0027】本発明の一実施形態によれば、ベース層110の材料は、InPコレクタ層104のバルク格子定数に整合するバルク格子定数が得られる組成を持っている。この格子整合は、約50~51%範囲の砒素成分を含むGaAsSbを用いることにより実現される。このように薄いベース層構造を形成した場合、ベース直列抵抗  $R_b$  が増大する。従って、薄い格子整合GaAsSbベース層110には約  $6 \times 10^{19}$  アクセプタ/cm<sup>3</sup> の高い濃度に不純物を添加することが望ましい。GaAsSbのドーピング挙動により、ベース層110を薄く形成し、かつ高濃度に不純物添加を行うことが出来、よって高い電流利得を維持することが出来る。

【0028】他の実施形態においては、51%を超える約65%までの範囲、望ましくは51%を超える約60%までの範囲、より好ましくは約54%~56%の範囲、そして最も好ましくは約55%の砒素成分を含むGaAsSbの薄い層110が形成される。これらの砒素成分比を採用した場合、ベース層材料のバルク格子定数はInPコレクタ層104のバルク格子定数とは一致しなくなる。上述した範囲の砒素比率及び上述した厚さとした場合、GaAsSbベース層110を仮晶成長させ、クラックを生じずに歪みを持たせる。このようにすれば、GaAsSbベース層110の格子パラメータはInPコレクタ104及びInPエミッタ114の格子パラメータに一致するのである。

【0029】当事者には周知のように、仮晶層中の格子定数は成長方向に垂直な2つの次元において基板格子と一致するように引き伸ばされるか或いは圧縮されるのである。成長方向における格子パラメータは全く異なるが、仮晶表面が呈する格子定数は、成膜中に供給される構成原子にとっては格子整合表面である。従って、薄い仮晶層をベース層110として用いることは、完全に格子整合したベース層110を用いることに物理的に極めて近い。

【0030】ベース層110をGaAs<sub>x</sub>Sb<sub>1-x</sub>で構成し、第一の実施形態としてXを0.51とした場合、ベース層に歪みはほとんど生じず、InPコレクタ層104に対してほぼ完全に格子整合した状態となる。しかしながら、Xが0.51から著しくかけ離れた値である場合、GaAsSbベース層110のバルク格子定数はInPコレクタ層104とは一致しない。このような場合、GaAsSbベース層110をクラックを生じることなく充分に薄く仮晶成長させることにより、その格子定数をInPコレクタ層104及びエミッタ114中のInP層の格子定数に一致させることが出来る。GaAsSbベース層110の砒素成分比を約51%から約60%にまで増大させると、格子整合ベースと比較して伝導帯不連続量  $\Delta E_c$  が約0.05eV低下する。

は、伝導帯及び価電子帯不連続量の相対的な大きさにより、正孔よりも電子のトンネル作用の方が大幅に強いのである。従って、定数  $K_{\text{eff}} = \frac{1}{1 + r_{\text{eff}}}$  は、ベースへとトンネルする電子の波動関数の積分を反映している。 $\Delta E_{\text{c}}$  が小さくなるに伴っての  $K_{\text{eff}} = \frac{1}{1 + r_{\text{eff}}}$  の増加は、 $\Delta E_{\text{c}}$  が小さくなるに伴っての  $n_{\text{b}}$  の指数関数的減少（一定の  $n_{\text{b}}$ 、よって一定の注入電流において）と比べると遅い。これは  $\Delta E_{\text{c}}$  が  $kT/q$  と比べて大きい限りはそうである。準位による再結合も  $n_{\text{b}}$  に依存する為、等しく  $\Delta E_{\text{c}}$  の減少による影響を受けやすいが、しかしこの減少によって界面準位密度  $N_{\text{T}}$  が著しく増えることはない。従って、GaAsSb ベース HBT のスクラビリティにより、ベース層中の As 含有量を増大させることで伝導帯不連続量  $\Delta E_{\text{c}}$  を低減することが出来るのである。

【0038】図6は他の実施形態に基づく HBT の  $f_{\text{T}}$ 、 $f_{\text{MAX}}$  及びベース添加物濃度の変化挙動を示すグラフであるが、この HBT は InP コレクタ上に GaAs<sub>0.62</sub>Sb<sub>0.38</sub> の組成で仮晶成長させた薄いベース層を含んでおり、電流利得がベース層厚の関数として 50 となるように制約されたものである。カットオフ周波数  $f_{\text{T}}$  及び最高動作周波数  $f_{\text{MAX}}$  は左軸に対し、そしてベース不純物濃度は右軸に対してプロットされている。参考として図5に示した歪みを持たない GaAsSb ベースのトランジスタにおけるベース不純物濃度及び  $f_{\text{MAX}}$  の変化挙動を点線で描いた。ここでの  $f_{\text{T}}$  の変化挙動は図5とほぼ同じである。

【0039】歪みを持たせた GaAsSb ベース層 110 はバルクとしても、エミッターベース界面においても、高い結晶完全性を持っている。As 含有量の高い合金を用いることにより、伝導帯不連続量  $\Delta E_{\text{c}}$  を低減することが出来る。As を 0.60 程度の比で含む合金を 20nm 厚のベースに使用した場合、同じ不純物添加濃度においてはコレクタ層及びエミッタに格子整合したベース層を持つ HBT よりも良好な利得を提供する HBT を得ることが出来る。これによりベース中の不純物添加濃度をより高くして  $f_{\text{MAX}}$  を向上させることが出来る可能性につながる。図6は、 $\Delta E_{\text{c}}$  を 0.05 eV 低減したことにより  $f_{\text{T}}$  及び  $f_{\text{MAX}}$  の両方が向上した例を示すものである。

【0040】図7は、図6の InP エミッタ/GaAsSb ベース/InP コレクタ構成の HBT のエネルギーバンド 200 を示すグラフである。縦軸 212 はエネルギーレベルを表し、横軸 214 は距離、即ちエミッタ領域 114、ベース領域 110 及びコレクタ領域 104 をそれぞれに構成する材料の厚さを表している。伝導帯 216 におけるエネルギー不連続量  $\Delta E_{\text{c}}$  は約 0.13 eV であり、価電子帯 218 におけるエネルギー不連続量  $\Delta E_{\text{v}}$  は約 0.71 eV である。伝導帯 216 における 0.13 eV の不連続量は、図3に示したもののから約

0.05 eV 分向上させたものである。

【0041】当事者には明らかなように、先に説明した本発明の実施の形態には本発明の原理から著しく離れることなく様々な変更や改変を加えることが出来る。例えば本発明の概念は、npn 型 HBT 及び pnp 型 HBT のいずれにとっても有益なものである。これらの変更及び改変形態は、本発明の範囲に全て含まれるものである。

【0042】本発明を上述の好適実施形態に即して説明すると、本発明は、コレクタ (104) と、エミッタ (114) と、そしてコレクタ (104) 及びエミッタ (114) 間に位置するベース (110) とを含むヘテロ接合バイポーラトランジスタ (100) であって、ベースが 49 nm 未満の厚さを持つガリウム砒素アンチモン (GaAsSb) 層を含むことを特徴とするヘテロ接合バイポーラトランジスタ (100) を提供する。

【0043】好ましくは、ベース (110) の組成は、約 51% の砒素 (As) を含む。

【0044】好ましくは、ベース (110) の組成は、約 55% の砒素 (As) を含む。

【0045】好ましくは、ベース (110) の組成は、約 60% の砒素 (As) を含む。

【0046】好ましくは、GaAsSb ベース層 (110) の厚さは、20 nm 未満である。

【0047】好ましくは、GaAsSb ベース層 (110) の格子定数がコレクタ層 (104) 及びエミッタ層 (114) の格子定数に一致するように、GaAsSb ベース層に歪みを持たせる。

【0048】好ましくは、GaAsSb ベース層 (110) は、ベリリウム (Be) を約  $6 \times 10^{19} \sim 4 \times 10^{20}$  アクセプタ/cm<sup>3</sup> の濃度に添加したものである。

【0049】好ましくは、GaAsSb ベース層 (110) は、炭素 (C) を約  $6 \times 10^{19} \sim 4 \times 10^{20}$  アクセプタ/cm<sup>3</sup> の濃度に添加したものである。

【0050】好ましくは、GaAsSb ベース層 (110) は、炭素 (C) を約  $6 \times 10^{19} \sim 4 \times 10^{20}$  アクセプタ/cm<sup>3</sup> の濃度に添加したものである。

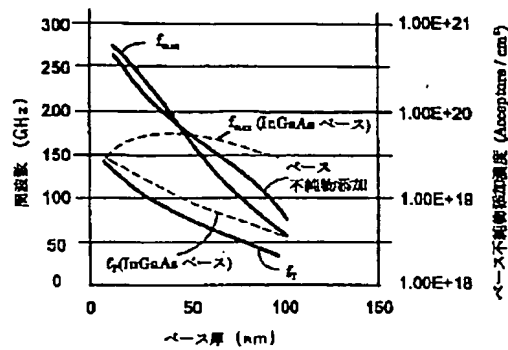
【0051】本発明は、更に、ヘテロ接合バイポーラトランジスタ (100) の製造方法であって、コレクタ (104) を形成するステップと、エミッタ (114) を形成するステップと、そして、コレクタ及びエミッタの間に位置するベース (110) を形成するステップを含み、ベース層 (110) が 49 nm 未満の厚さを持つガリウム砒素アンチモン (GaAsSb) 層を含むことを特徴とする方法を提供する。

【図面の簡単な説明】

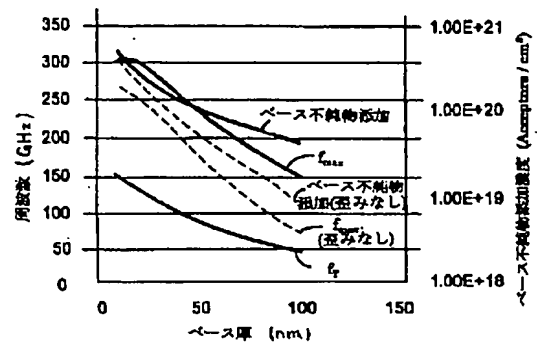
【図1】電流利得がベース層厚の関数として 50 となるように制約した InGaAs ベース HBT における

$f_{\text{T}}$ 、 $f_{\text{MAX}}$  及びベース不純物濃度の変化挙動を示す

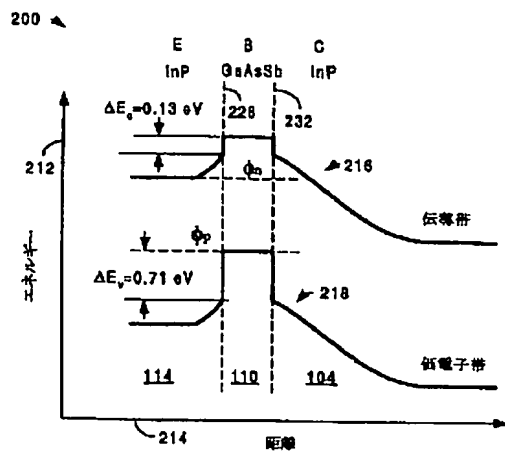
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(71)出願人 399117121  
395 Page Mill Road P  
alo Alto, California  
U. S. A.

(72)発明者 コロンボ・アール・ボログネシ  
カナダ バンクーバー ポート・ムーディ  
ー シークレスト・コート909  
Fターム(参考) 5F003 BA92 BC08 BE01 BE90 BF06  
BG06 BM03 BP31